

# СИСТЕМА АКТИВНОГО ПОДАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

А. А. Пеганов

(Екатеринбург, УрФУ, soyka@votsverlo.ru)

## 1. Немного теории

Звук – процесс распространения механических колебаний в сплошной упругой среде, т. е. механическая волна.

### *Основные характеристики механических волн*

*Длина волны* – расстояние между ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковой фазе.

*Период* – время, за которое совершается одно полное колебание.

*Частота* – величина, обратная периоду (1).

$$\lambda = v \cdot T, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость волны,  $T$  – период.

*Волновая поверхность* – геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе.

Волновые поверхности могут быть любой формы, а в простейшем случае они представляют собой совокупность плоскостей, параллельных друг другу, или совокупность концентрических сфер. Соответственно волна называется *плоской* или *сферической*.

## 2. Уравнение плоской волны

Для простоты расчетов будем считать звук плоской гармонической волной, распространяющейся вдоль оси  $X$  в положительном направлении. Поместим в начало координат источник волны – некое тело, колеблющееся с амплитудой  $A$ , частотой  $\omega$  и начальной фазой  $\varphi_0$ .

Основная задача тогда сводится к тому, чтобы определить, что именно будет происходить с некой точкой на оси  $X$  в момент времени  $t$ , т. е. величину ее отклонения от оси (рис. 1).

$$\xi(x, t) = A \cos \left[ \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) + \varphi_0 \right]. \quad (2)$$

Уравнение плоской волны (2).

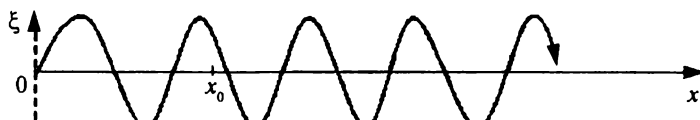


Рис. 1

*Переменные:*

- $\xi$  – отклонение рассматриваемой точки от оси  $X$  в момент времени  $t$ . Можно рассматривать и как ось  $Y$ ;
- $x$  – положение рассматриваемой точки на оси  $X$  (например,  $x_0$ );
- $A$  – амплитуда колебаний;
- $v$  – скорость волны;
- $\omega$  – угловая частота колебаний;
- $\varphi_0$  – начальная фаза колебаний;
- $\left(t - \frac{x}{v}\right)$  – фаза колебаний. Как видно, она зависит от време-

ни, скорости распространения колебаний и расположения (удаленности) исследуемой точки на оси.

Для характеристики волн используется *волновое число* (3):

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{\omega}{v}. \quad (3)$$

Тогда волновое уравнение преобразуется и имеет вид (4):

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0). \quad (4)$$

### 3. Расчет сложения двух волн

Рассмотрим сложение двух плоских волн (5):

$$\begin{aligned} \xi_1(x, t) &= A_1 \cos(\omega_1 t - k_1 x + \varphi_{01}); \\ \xi_2(x, t) &= A_2 \cos(\omega_2 t - k_2 x + \varphi_{02}). \end{aligned} \quad (5)$$

Рассмотрим ситуацию, когда у нас имеются два источника колебаний, расположенных в точках  $x_1$  и  $x_2$ . Волны распространяются вдоль оси  $X$  (рис. 2).

$$\Omega_1 = \Omega_2 = \omega, \quad A_1 = A_2 = A, \quad v_1 = v_2 = v.$$

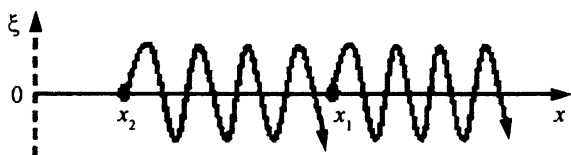


Рис. 2

Цель – взаимное уничтожение колебаний (5) (6) (7).

$$\xi_1(x, t) = A \cos \left[ \omega \left( t - \frac{x - x_1}{v} \right) + \varphi_{01} \right],$$

$$\xi_2(x, t) = A \cos \left[ \omega \left( t - \frac{x - x_2}{v} \right) + \varphi_{02} \right],$$

$$\xi(x, t) = \xi_1(x, t) + \xi_2(x, t), \quad (5)$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \xi(x, t) = 2A \cos & \left( \frac{2\omega t + \varphi_{01} + \varphi_{02} - \frac{\omega}{v} (2x - x_1 - x_2)}{2} \right) \times \\ & \times \cos \left( \frac{\varphi_{01} - \varphi_{02} + \frac{\omega}{v} (x_1 - x_2)}{2} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Отсюда получаем, чтобы произведение было равно 0 (8),

$$\frac{\varphi_{01} - \varphi_{02} + \frac{\omega}{v} (x_1 - x_2)}{2} = \frac{\Delta \varphi}{2} + \frac{\omega}{2v} \Delta x = 0, \quad (8)$$

$$\Delta \varphi = -\frac{\omega}{v} \Delta x.$$

Отсюда можно получить, какую задержку необходимо задать ( $\Delta\varphi$ ), если знаем расстояние между источниками.

Скорость звука в воздухе  $\approx 340$  м/с,  $\omega = 2\pi f$ .

$$\Delta\varphi \approx -\frac{2\pi f}{340} \Delta x,$$

$$\Delta t = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} T,$$

$$\Delta t \approx -\frac{f T}{340} \Delta x, \quad f T = 1, \quad (9)$$

$$\Delta t \approx -\frac{\Delta x}{v_{\text{звук}}}. \quad (10)$$

#### 4. Практическое воплощение

Основная идея заключается в том, что при сложении двух звуковых сигналов, приходящих в противофазе в одну точку, мы получаем нулевую амплитуду результирующего сигнала в этой точке, т. е. отсутствие звука.

Прибор состоит (рис. 3):

1. Радиомикрофона на штативе.
2. Колонки.
3. Усилителя.
4. Дополнительного (синхронизирующего) микрофона.
5. Осциллографа.
6. Управляющей ЭВМ с ПО.

Звуковой сигнал приходит на микрофон на штативе, преобразуется в электрический сигнал, после чего он обрабатывается на ЭВМ (устанавливается временная задержка и происходит инвертирование по фазе).

Результирующий электрический сигнал поступает на усилитель, после чего подается на колонку и в виде акустического сигнала излучается в пространство.

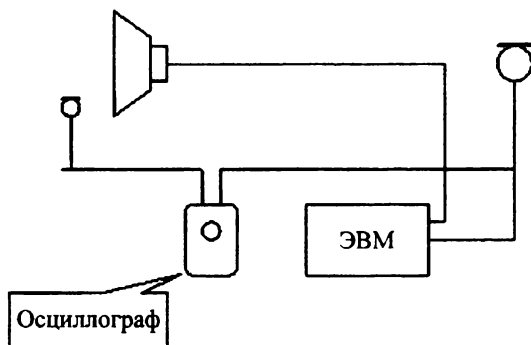


Рис. 3

В пространстве исходный речевой сигнал и тот, который перенес преобразования фазы и временную задержку, складываются и взаимно уничтожаются.

Для синхронизации задержки по времени используется основной микрофон, дополнительный синхронизирующий микрофон и осциллограф.

Основная проблема технического воплощения – медленная (не в режиме реального времени) обработка аудиосигнала на ЭВМ, что ведет к большой временной задержке, а также улавливание микрофоном уже обработанного сигнала. Полностью сигнал подавить не удастся, но можно улучшить акустическую обстановку.

## 5. Применение технологии в других областях

Данная технология подходит для систем, в которых расположение источника помех и приемника поддается точной локализации, а особенности пространства позволяют его реализовать. Один из примеров – наушники с активной шумокомпенсацией, которыми пользуются пилоты. Еще одно место применения – вентиляторы в закрытых вентиляционных системах. Первые попытки применения этого метода в шкафах и корпусах для оборудования ИТ показали, что он пока слишком сложен и недостаточно гибок [2].

Также в Тольяттинском государственном университете рассматриваются вопросы исследования снижения низкочастотного шума автомобилей с поршневым двигателем внутреннего сгорания путем использования метода активного шумоглушения.